

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-29532

(43) 公開日 平成7年(1995)1月31日

(51) Int.Cl. <sup>9</sup>	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 J 35/00	Z	7354-5E		
H 0 5 G 1/00				
1/34	H	8119-4C		
		8119-4C		
			H 0 5 G 1/00	D

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平5-175734

(22) 出願日 平成5年(1993)7月15日

(71) 出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72) 発明者 中村 勤

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72) 発明者 横井 高嶺

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72) 発明者 落合 豊

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

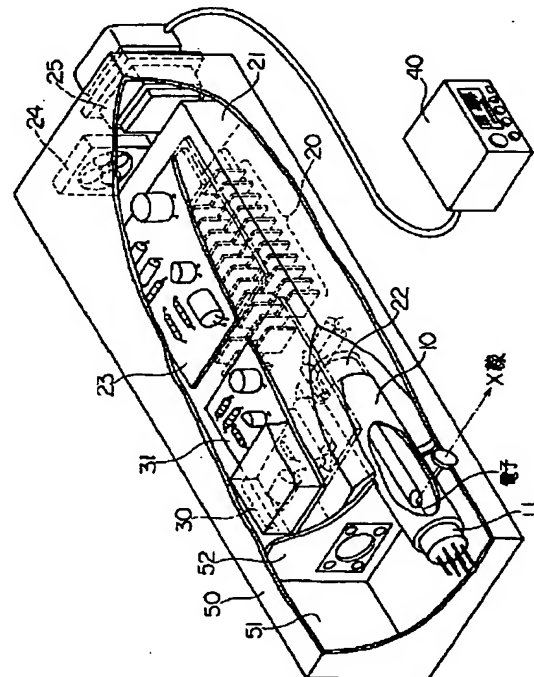
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線装置

(57) 【要約】

【目的】 本発明は、X線の出力が安定したX線装置を提供することを目的とする。

【構成】 フォーカス電極(15d)はグランド電位を保持し変動することがないので、ターゲット(16a)に衝突する電子の焦点径が一定になり、X線の出力が安定する。また、カソード(15b)・ターゲット(16a)間の電位比は常に一定なので、カソード(15b)・ターゲット(16a)間の電界分布が安定し、X線の出力が安定する。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ヒーターの加熱により電子を放出するカソードと、前記カソードから放出された電子の衝突により X 線を発生させるターゲットと、前記ターゲットに電子が衝突するように前記カソードから放出された電子を集束させるグラウンド電位のフォーカス電極と、前記カソード、前記ターゲット及び前記フォーカス電極が内部に配置され、前記ターゲットで発生した X 線を外部に出射させる出射窓を有するグラウンド電位の外囲器とを備えた X 線管と、

前記ターゲットへの印加電圧の変化に連動させて、一定の比率で前記カソードへの印加電圧を変化させるように制御する制御回路とを備えることを特徴とする X 線装置。

【請求項 2】 前記ターゲット及び前記カソードなどに電圧を印加する電圧発生回路と、前記発生回路を樹脂モールドする発生回路モールドブロックとを備え、前記電圧発生回路を制御する前記制御回路の制御方式が、パルス電圧可変制御方式であることを特徴とする請求項 1 記載の X 線装置。

【請求項 3】 前記カソードと前記フォーカス電極との間に、前記カソードから放出された電子を加速させるグリッド電極と、前記カソード、前記グリッド電極および前記フォーカス電極を非結晶性ガラスまたは銀で接着して組立固定するアルミナ支柱とを備え、前記ターゲットは、無酸素銅の基体の少なくとも電子入射面にタングステン (W) が銀等によりろう付けされており、前記フォーカスおよび前記グリッドの材質はモリブデン (Mo) で、前記カソードの表面にはイリジウム (Ir) が被覆されており、

前記外囲器の材質はニッケル・銅合金であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の X 線装置。

【請求項 4】 前記 X 線管を挿入固定するための挿入穴を有する X 線管モールドブロックを備え、前記挿入穴には前記 X 線管の高電圧絶縁のための絶縁油または絶縁ガス (SF<sub>6</sub>) が封入されており、前記挿入穴の開口端面には前記絶縁油などの漏洩、蒸発防止用のエポキシ樹脂が塗布されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の X 線装置。

【請求項 5】 前記電圧発生回路は、前記ターゲットにプラスの高電圧を印加するターゲット用電圧発生回路と、前記カソードにマイナスの高電圧を印加するカソード用電圧発生回路と、前記グリッド電極に高電圧を印加するグリッド用電圧発生回路とを備え、前記制御回路のカソード・グリッド間には、前記ターゲットへの過電流を防止するためのダイオードが前記グリッド用電圧回路と直列に接続され、

前記ターゲット用電圧発生回路には、異常過電流及び／又は異常過電圧を検出し、異常時に回路の駆動を休止させる手段を有し、

前記ヒーターの焼損を防止するために、前記カソード用電圧発生回路の電流容量が前記ヒーターの電流容量の 1 / 100 以下であることを特徴とする請求項 3 または請求項 4 記載の X 線装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

10 【産業上の利用分野】本発明は、X 線管を内蔵した X 線装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、このような分野の技術としては、米国特許 5, 077, 771、米国特許 4, 646, 338、米国特許 4, 694, 480 のものが知られている。これらの文献には、X 線管と、モールドされた高圧電源及び制御回路とから構成された携帯用の X 線装置が開示されている。

## 【0003】

20 【発明が解決しようとする課題】しかしながら、X 線管への電圧の印加方法は、カソードアース、ターゲットアース、或いはフォーカス電圧を可変する方法が用いられていた。しかし、いずれの方法も、マイクロフォーカス X 線装置の最も重要な要件である微小焦点 X 線を発生制御する方法には適していなかった。

【0004】また、各部の高圧発生回路の電圧制御方式が PWM 方式であり、制御パルスのパルス幅を変えて実効電圧を制御する様になっているため、高電圧（二次側コイル）側の追従性が悪く、X 線出力のゆらぎが大きかった。

30 【0005】さらに、X 線管の寿命を決定するカソードの寿命特性の向上を図るため、米国特許 5, 077, 771 の文献では含浸型カソードを採用した従来例が記載されているが、オスミウム (Os) のみを被覆した含浸型カソードでは、まだ長寿命化には不十分で信頼性に欠けた。

【0006】本発明は、このような問題を解決することを目的とする。

## 【0007】

40 【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の X 線装置は、ヒーターの加熱により電子を放出するカソードと、カソードから放出された電子の衝突により X 線を発生させるターゲットと、ターゲットに電子が衝突するようにカソードから放出された電子を集束させるグラウンド電位のフォーカス電極と、カソード、ターゲット及びフォーカス電極が内部に配置され、ターゲットで発生した X 線を外部に出射させる出射窓を有するグラウンド電位の外囲器とを備えた X 線管と、ターゲットへの印加電圧の変化に連動させて、一定の比率でカソードへの印加電圧を変化させるように制御する制御回路

とを備える。

【0008】

【作用】本発明のX線装置によれば、フォーカス電極をグラウンド電位とし、カソードとターゲットのそれぞれに電圧が印加されている。フォーカス電極はグラウンド電位を保持し変動することがないので、ターゲットに衝突する電子の焦点径が一定になる。このため、ターゲットから放射されるX線の出力が安定する。また、カソードへの印加電圧とターゲットへの印加電圧とは、制御回路の制御によって、一定の比率で連動して変化させている。このため、カソード・ターゲット間の電位比が常に一定になり、カソード・ターゲット間の電界分布が乱れることがない。さらに、外囲器はグラウンド電位を保持しているので、外部からの影響を受けてカソード・ターゲット間の電界分布が乱れることはほとんどない。よって、カソード・ターゲット間の電界分布の乱れによって、X線の出力が変動することはない。

【0009】

【実施例】以下、本発明の一実施例について添付図面を参照して説明する。

【0010】図1は本実施例に係るX線装置の構成を示す斜視図、図2(a)(b)は本実施例に係るX線装置の構成を示す断面図である。図1及び図2(a)(b)より、本実施例のX線装置は、X線を放射するマイクロフォーカスX線管10と、マイクロフォーカスX線管10に高電圧を印加するコッククロフト回路20、30と、マイクロフォーカスX線管10への印加電圧の制御などを行う制御回路が内蔵されたコントロール装置40とを備えている。

【0011】マイクロフォーカスX線管10、コッククロフト回路20、30は鉛板51によってX線漏洩防止措置が施された筐体50に組み込まれており、コントロール装置40は筐体50の外部に備えられている。

【0012】コッククロフト回路20は直方体形状のモールドブロック21でモールドされており、モールドブロック21の前部側面に設けられた絶縁油槽21aにはマイクロフォーカスX線管10が取り付けられている。コッククロフト回路20で生成された高電圧の電力は、ターゲット高電圧供給端子22を介してマイクロフォーカスX線管10に供給される。

【0013】モールドブロック21の上には、コッククロフト回路20用のインバータ回路が備えられた基板23と、コッククロフト回路30が備えられた基板31が設けられている。コッククロフト回路30はシリコン樹脂でモールドされており、コッククロフト回路30で生成された高電圧の電力は、ステム11を介してマイクロフォーカスX線管10に供給される。

【0014】筐体50の後部側面には冷却用ファン24と、コントロール装置40をケーブルで接続するためのコネクタ25が設けられており、冷却用ファン24はモ

ールドブロック21の後部側面に備えられたトランジスタ(Q1, Q2)の冷却を行う。

【0015】マイクロフォーカスX線管10には、図3に示すサイドウィンドタイプのもので、図4に示すエンドウィンドタイプのものである。図3および図4より、マイクロフォーカスX線管10は、金属製の外囲器12とガラス製の外囲器13とを組み合わせて構成されている。外囲器12の一端にはセラミック製のステム11がはめ込まれており、外囲器12の側面にはベリリウム製のX線出射窓14が形成されている。

【0016】外囲器12, 13の内部には、外囲器12側に電子銃15が配置され、外囲器13側に無酸素銅のターゲット基体16が配置されている。電子銃15は、ヒーター電極15a、カソード15b、グリッド電極15c、フォーカス電極15dから構成されている。また、ターゲット基体16の先端には、タングステンのターゲット16aが銀でろう付けされている。

【0017】ヒーター電極15aによりカソード15bが加熱されると、一定の温度でカソード15bの表面から電子が放出される。放出された電子は、グリッド電極15cで加速され、フォーカス電極15dで集束されて、ターゲット16aに衝突する。衝突により、電子はX線と熱に変換され、発生したX線はX線出射窓14から外部に出射する。また、発生した熱は熱伝導性の高いターゲット基体16を通して外部に放出される。

【0018】電子がターゲット16aに向かう軌道に垂直な面に対して、ターゲット16aは25°傾けて配置されている。このようにターゲット16aが傾けて配置されているので、発生したX線の多くはX線出射窓14に到達し、X線出射窓14から外部に出射する。

【0019】図5は、電子銃15の構造を示す断面図である。同図より、ヒーター電極15a、カソード15b、グリッド電極15c、フォーカス電極15dは、アルミナまたはサファイヤの支柱15eに取り付けられている。グリッド電極15cとフォーカス電極15dの材質は、耐熱性及び放熱性の優れたモリブデン(Mo)が使用されている。グリッド電極15cとフォーカス電極15dの支柱への接着は、非結晶性ガラスまたは銀によるろう付けにより行われている。特に、非結晶性ガラスを用いた場合には、銀を用いた場合よりも加工温度が低いため、加工の際の電極等の変形が少なく、高精度の電子銃15が形成できる。

【0020】カソード15bは含浸型カソードが用いられている。含浸型カソードは多孔質タングステンにBaO, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を含浸させたもので、その電子放射面がOs(オスミウム), Ir(イリジウム), Os/Ru(ルテニウム)などで被覆されている。この被覆により、動作温度を100°C<sub>B</sub>下げることができ、カソード15bがより長寿命となる。

【0021】外囲器12の材質はニッケル・銅合金が用

いられている。ニッケル・銅合金は熱伝導性、加工性（特に溶接性）に優れ、ガス放出の少ない金属である。特に熱伝導が良いことはマイクロフォーカスX線管10の内部で発生する熱を素早く外部に運び去ることができ、マイクロフォーカスX線管10の熱によるダメージを軽減させ、寿命を延ばす効果がある。

【0022】外囲器12は導電性であり、常にグランド電位を保持している。フォーカス電極15dはこの外囲器12と接続されているので、フォーカス電極15dも常にグランド電位を保持している。このため、ターゲット16aの電位が変化しても、フォーカス電極15dの周囲に形成される電子レンズの形状は常に一定となり、安定した微小X線焦点を保つことができる。さらに、グランド電位の外囲器12によって、電子銃15及びターゲット16aが取り囲まれているので、外部の影響を受けて外囲器12内部の電界分布が乱れることはない。

【0023】図6は、マイクロフォーカスX線管10とモールドブロック21がパネル52に固定された状態を示す断面図である。同図より、パネル52のモールドブロック21側の面にはX線シールド用の鉛板51が接着されている。モールドブロック21の絶縁油槽21aにはマイクロフォーカスX線管10が挿入されており、絶縁油槽21aとマイクロフォーカスX線管10との間には絶縁用の高圧絶縁油が封入されている。パネル52にはモールドブロック21が接着固定されており、モールドブロック21が接着されたパネル52の面の反対の面から、モールドブロック21に挿入されたマイクロフォーカスX線管10の一部が突出している。ここで、パネル52にモールドブロック21が接着固定されているのは、パネル52とモールドブロック21を一体として作ることは材質の違いにより不可能だからである。

【0024】モールドブロック21の絶縁油槽21aに封入された高圧絶縁油の一部は、X線発生時の発熱によって蒸発する。特に、パネル52、鉛板51及びモールドブロック21の接着に、熱特性の優れたシリコン系接着剤を使用した場合、全体の絶縁油の蒸発量の90%前後がこの接着層から蒸発してしまう。絶縁油の蒸発により、モールドブロック21内に貯蔵された絶縁油が減少する。減少する割合は通年使用（8760時間）した場合、貯蔵量の6%前後にもなる。この蒸発によって、絶縁油槽21aに空洞が生じ、絶縁油は空気に触れ易くなる。このため酸化される絶縁油の割合が高くなって、絶縁耐力が低下する。さらに絶縁油の蒸発が進めば、マイクロフォーカスX線管10の表面が空気に露出してしまい、耐圧不良が生じる。

【0025】そこで、本実施例では、パネル52とモールドブロック21の接着層でX線管10が装着されている周辺或いは接着層全体を蒸発防止カバー53で覆い、絶縁油の蒸発を防いでいるのである。例えば、蒸発防止カバー53としてエポキシ樹脂を用いた場合、蒸発量を

3%以下に落すことができる。これにより絶縁油の寿命が延び、安定した動作を続けることができる。

【0026】図7は、本実施例に係るX線装置のX線出射部分の構造を示す断面図である。同図を用いて本実施例に係るX線装置における漏洩X線の遮蔽機能について説明する。マイクロフォーカスX線管10の構造上、ターゲット16aで発生したX線は、X線出射窓14方向以外の方角にも放出され、漏洩X線となる。この漏洩X線が外部に漏れると、周辺装置などに悪影響を与え保安上問題である。

【0027】本実施例では、筐体50、及び筐体50の内面に設けられた鉛板51で、漏洩X線の大部分を遮蔽している。具体的には、筐体50は厚さ1~2mm程度の鉄などの金属が用いられており、管電圧70kV程度のエネルギーで放出されるX線の86%が遮蔽される。さらに、鉛板51によりほぼ100%のX線を遮蔽することができる。

【0028】管電圧70kV程度のエネルギーで放出されるX線のX線強度の場合には、鉛板の厚さは、1~2mm程度のものでも十分にX線を遮蔽することが可能である。これにより、鉛板51と筐体50を透過して外部に放射されるX線の放射量は、 $1\mu\text{S V/h r}$ 以下になる。 $1\mu\text{S V/h r}$ は電離放射線障害防止規則に定める法定基準X線量以下であることから、本実施例のX線装置は安全性の高い装置であるといえる。

【0029】図8は、モールドブロック21の外観を示す斜視図である。同図に示すモールドブロック21には、コッククロフト回路20が埋め込まれている。コッククロフト回路20は、70kV程度の高圧電源装置を製造する場合によく用いられる回路である。70kV程度の高電圧では、特に昇圧されて高圧になる箇所が周囲の環境に左右されないように、耐絶縁材料でモールドする必要がある。このため、モールドブロック21によってモールドが施されているのである。

【0030】一般的なモールドは、回路群を型に入れて耐絶縁材料を流し込みモールドブロックを成型するが、型に流し込む絶縁材料は加熱硬化し易いため、複雑な形状のブロックの場合にはブロック内に気泡が残る場合がある。このようにモールドブロック内に気泡が残ると、絶縁不良を起こし問題となった。

【0031】本実施例では、単純形状である直方体形状のモールドブロック21を用いているので、ブロック内に気泡が残ることは少ない。また、モールドブロック21の作製過程においても、次のような工夫が施されている。モールドブロック21は、図9の構造をしたモールド型60の中に絶縁材料を流し込んで成型する。モールド型60の上部開口は、蓋の様なもので覆われていないので、モールドブロック21を成型する際に発生した気泡は、容易に上部開口から抜け出すことができる。さらにモールド型60を作製する場合、例えば円筒のような

形をしたものと違い、加工が非常に簡単である。

【0032】マイクロフォーカスX線管10において一番重要なことは、カソード電圧、ターゲット電圧が変化した場合でも、この変化に影響されことなくマイクロフォーカスX線管10の焦点径は小さく、且つ変化しないことである。本実施例では、コントロール装置40の制御によって、ターゲット電圧の変化に連動してカソード電圧を変化させている。このため、カソード電圧とターゲット電圧の比率は一定となり、ターゲット16aに衝突する電子の焦点径は、ターゲット電圧の変化に影響されことなく常に一定となる。カソード電圧とターゲット電圧の比率が1:100であれば、+20kV~+70kVまでターゲット電圧が変化しても、焦点径は一定に保たれ、焦点径を最小にすることができる。

【0033】また、フォーカス電極15dと、ターゲット16aと、これらを囲む外囲器12とで形成されるフォーカス・ターゲット間の電界分布は外囲器12の材料が重要な意味を持つ。外囲器12を絶縁物で構成すれば、電界分布はターゲット電圧と、フォーカス電圧の変化によるチャージアップにより乱れる。このため、本実施例のようにグラウンド電位の金属製の外囲器12を用いて、且つフォーカス電極15dを外囲器12に接続して外囲器12と同電位であるグラウンド電位にすることにより、外囲器12内の電界分布の乱れを防止している。さらに、モールドブロック20、30の外周部と外囲器12との関係もグラウンド電位に保てるので、外部に対して高圧の影響による危険も少なくなる。

【0034】図10は、焦点径を一定に保つためにカソード電圧とターゲット電圧を連動させる回路の概略図である。ターゲット電圧設定のために0~7VのDC電圧を与えると、ターゲット電圧( $E_T$ )は0~+70kVまで変化する。また、ターゲット電圧設定に与えた0~7VのDC電圧は、同時にカソード制御回路に加えられるので、カソード電圧( $E_K$ )は0~700Vに変化する。従って、ターゲット電圧( $E_T$ )とカソード電圧( $E_K$ )は、連動して変化し、常に一定の比率100:1となる。グリッド電極15cへの印加電圧は、カソード電圧( $E_K$ )より負の電位で、ターゲット電流を制御している。

【0035】本実施例に係るX線装置を試作し、ターゲット電圧( $E_T$ )とカソード電圧( $E_K$ )の関係を測定したところ、図11に示すような比例関係があることが判った。このような関係を有するX線装置であれば、ターゲット16aに衝突する電子の焦点径が一定となり、放射されるX線の出力も安定する。

【0036】また、本実施例に係るX線装置を試作して、ターゲット電圧( $E_T$ )とカソード電圧( $E_K$ )の比率( $E_K/E_T$ )と、ターゲット16aに衝突する電子の焦点径との関係を測定したところ、図12に示す関係があることが判った。図12のグラフより( $E_K/E$

$r$ )が約1.01%のときに、電子の焦点径が最小になることが判る。

【0037】図13は、本実施例に係るX線装置の動作を示すブロック図である。このブロック図は、マイクロフォーカスX線管10を動作させる動作ブロック部100と、動作ブロック部100を制御する制御ブロック部200とに分かれる。

【0038】動作ブロック部100は、マイクロフォーカスX線管10のターゲット電圧を制御するターゲット制御部110と、ターゲット16aの過電流を検出するターゲット過電流検出部120と、マイクロフォーカスX線管10のグリッド電圧を制御するグリッド制御部130とを備えている。さらに、マイクロフォーカスX線管10のカソード電圧を制御するカソード制御部140と、マイクロフォーカスX線管10のヒーター電圧を制御するヒーター制御部150とを備えている。

【0039】制御ブロック部200は、ターゲット制御部110及びカソード制御部140にターゲット電圧設定電圧を与える電圧設定D/Aコンバータ210と、グリッド制御部130にターゲット電流設定電圧を与える電流設定D/Aコンバータ220と、インターロックを検出するインターロック検出部230とを備えている。さらに、ウォームアップを行うエージング部240と、X線の発生を停止させるキースイッチ250と、電圧変換を行う電源制御部260とを備えている。さらに、制御プログラムが記憶されたROM270、RAM280と、電圧、電流、X線モードをそれぞれ設定する電圧設定スイッチ290、電流設定スイッチ300、モードスイッチ310とを備えている。さらに、X線モード、ターゲット過電流、ターゲット電圧、ターゲット電流をそれぞれ表示するモード表示部320、過電流表示部330、ターゲット電圧表示メータ340、ターゲット電流表示メータ350と、各装置を制御するCPU360とを備えている。

【0040】図14は、動作ブロック部100の詳細構成を示すブロック図である。同図より、ターゲット制御部110は、電圧設定D/Aコンバータ210からターゲット電圧設定電圧が与えられてターゲット電圧を制御するターゲット電圧制御部111と、ターゲット電圧制御部111の指示を受けて所望のターゲット高電圧を発生させるターゲット高電圧発生部112とを備えている。ターゲット過電流検出部120は、ターゲット高電圧発生部112で発生したターゲット電流の過電流を検出する過電流検出部121と、ターゲット高電圧発生部112で発生したターゲット電圧の過電圧を検出する過電圧検出部122とを備えている。

【0041】グリッド制御部130は、ターゲット電流を検出するターゲット電流検出部131と、ターゲット電流検出部131で検出したターゲット電流と電流設定D/Aコンバータ220から出力された設定電流信号を

比較するターゲット電流比較部132と、カットオフ電圧制御設定部133とを備えている。さらに、ターゲット電流比較部132での比較結果に基づいてグリッド電圧を制御するグリッド電圧制御部134と、グリッド電圧制御部134の指示を受けて所望のグリッド電圧を発生させるグリッド電圧発生部135とを備えている。

【0042】カソード制御部140は、電圧設定D/Aコンバータ210からターゲット電圧設定電圧が与えられてカソード電圧を制御するカソード電圧制御部141と、カソード電圧制御部141の指示を受けて所望のカソード電圧を発生させるカソード電圧発生部142とを備えている。ヒーター制御部150は、ヒーター電圧を制御するヒーター電圧制御部151と、ヒーター電圧制御部151の指示を受けて所望のヒーター電圧を発生させるヒーター電圧発生部152とを備えている。

【0043】図15～図23は、動作ブロック部100及び制御ブロック部200が備える各回路の具体的な回路図である。

【0044】図15は、ターゲット制御部110の回路図である。同図に示すターゲット電圧回路410は、基板23上に備えられたインバータ回路411やモールドブロック21内の回路などから構成されている。

【0045】発振器IC<sub>1</sub>から出力された所定の周波数の信号がIC<sub>2</sub>、IC<sub>3</sub>(IC<sub>3-1</sub>, IC<sub>3-2</sub>)に与えられると、プッシュプルスイッチングが行われ、IC<sub>2</sub>、IC<sub>3</sub>からの出力がトランスT<sub>0</sub>に与えられる。また、電圧設定D/Aコンバータ210から電圧設定端子412にターゲット電圧設定電圧が印加されると、IC<sub>6</sub>(IC<sub>6-1</sub>, IC<sub>6-2</sub>)を通じてトランジスタQ<sub>5</sub>、Q<sub>3</sub>、Q<sub>4</sub>、Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub>にターゲット電圧設定電圧が与えられ、トランスT<sub>0</sub>の1次側の両端に電流が流れる。さらに、トランスT<sub>0</sub>の midpoint には24Vの電圧が印加されているので、トランスT<sub>0</sub>の両端にはトランジスタQ<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub>より出力された電流変化分の電圧が掛かることになる。

【0046】トランスT<sub>0</sub>の2次側には巻数比で昇圧された2次電圧が発生する。この2次電圧は、トランスT<sub>0</sub>の1次側の電圧変化に比例した電圧値を示す。昇圧された電圧はコッククロフト回路20で電圧増幅され、最終段から高電圧が発生する。この高電圧は抵抗ブリーダー413で分圧され、抵抗R<sub>6</sub>に掛かる電圧がIC<sub>4</sub>(IC<sub>4-1</sub>, IC<sub>4-2</sub>)で増幅される。IC<sub>4</sub>で増幅された電圧は、IC<sub>6</sub>でターゲット電圧設定電圧と比較され、その差分の電圧がトランジスタQ<sub>5</sub>に与えられる。それ以後は、前述の動作を繰り返し、常に電圧設定端子412から与えられたターゲット電圧設定電圧によって、コッククロフト回路20の出力電圧は一定の電圧値を保持する。この電圧がターゲット電圧としてターゲット16aに与えられる。

【0047】コッククロフト回路20の初段に備えられ

たダイオードD<sub>3</sub>よりターゲット電流が読み出される。読み出されたターゲット電流はIC<sub>4-1</sub>で電圧変換され、変換された電圧がコンパレータIC<sub>7-1</sub>に印加される。コンパレータIC<sub>7-1</sub>では、印加された電圧とボリュームVR<sub>c</sub>で調整された設定電圧(最大ターゲット電流に相当する電圧)とが比較され、この比較結果に合わせてスイッチングトランジスタIC<sub>8</sub>(IC<sub>8-1</sub>, IC<sub>8-2</sub>, IC<sub>8-3</sub>, IC<sub>8-4</sub>)が動作する。スイッチングトランジスタIC<sub>8</sub>からの出力は発振器IC<sub>1</sub>に与えられ、過電流が発生した場合に発振器IC<sub>1</sub>の発振を停止させる。本実施例にはこのような回路が組み込まれているので、マイクロフォーカスX線管10の放電やモールドブロック21内での放電などによる過電流から、ターゲット電圧回路410の各ICを保護することができる。

【0048】コッククロフト回路20の最終段の出力は、抵抗ブリーダー413で分圧され、出力電圧のR<sub>7</sub>/(R<sub>2</sub>+R<sub>3</sub>...+R<sub>7</sub>)倍の電圧が抵抗R<sub>7</sub>に印加される。抵抗R<sub>7</sub>の電圧はIC<sub>4-2</sub>で増幅され、コンパレータIC<sub>7-2</sub>に印加される。コンパレータIC<sub>7-2</sub>では、印加された電圧と、ボリュームVR<sub>v</sub>で調整された設定電圧(コッククロフト回路20からの出力が許される最大電圧)とが比較され、この比較結果に合わせてスイッチングトランジスタIC<sub>8</sub>が動作する。スイッチングトランジスタIC<sub>8</sub>の出力は発振器IC<sub>1</sub>に与えられ、コッククロフト回路20の最終段の出力がボリュームVR<sub>v</sub>で調整された設定電圧を越えた場合に、発振器IC<sub>1</sub>の発振を停止させる。本実施例にはこのような回路が組み込まれているので、設定電圧値以上の電圧が外部から入力された場合でも、マイクロフォーカスX線管10の最大電圧を越えて耐圧振が発生したり、モールドブロック内での放電により高圧駆動用のICが破損されたりすることがない。また、コッククロフト回路20の最終段の出力が分圧された抵抗R<sub>7</sub>の電圧値は、常にモニターされ、ターゲット電圧表示メータ340に表示される。

【0049】図16は、カソード制御部140の回路図である。同図に示すカソード電圧回路420は、発振器421と、スイッチングトランジスタQ<sub>6-1</sub>、Q<sub>6-2</sub>を備えている。したがって、発振器421から出力された発振周波数で、スイッチングトランジスタQ<sub>6-1</sub>、Q<sub>6-2</sub>は交互にON-OFF動作をする。また、スイッチングトランジスタQ<sub>6-1</sub>、Q<sub>6-2</sub>に接続されたトランスT<sub>2</sub>の1次側の midpoint に電圧が与えられると、この電圧がトランスT<sub>2</sub>の1次側の電圧となり、巻数比に応じた電圧がトランスT<sub>2</sub>の2次側に発生する。電圧設定D/Aコンバータ210から電圧設定端子422にターゲット電圧設定電圧が印加されると、この電圧はコンパレータU<sub>2-1</sub>を通じてトランジスタQ<sub>7</sub>を駆動させる。トランジスタQ<sub>7</sub>の出力電圧は、トランスT<sub>2</sub>の midpoint に与えら

れ、トランス  $T_2$  にはターゲット電圧設定電圧に応じた 2 次電圧が発生する。トランス  $T_2$  の 2 次側には、コッククロフト回路 301 が設けられている。コッククロフト回路 301 には、複数のダイオード  $D_a$  と複数のコンデンサ  $C_a$  が備えられており、トランス  $T_2$  の 2 次側で発生した 2 次電圧を電圧増幅して高電圧を発生させる。コッククロフト回路 301 からの高電圧の出力は、抵抗ブリーダー 423 で分圧され、バッファ  $U_{6-4}$ 、反転増幅器  $U_{6-3}$  で電圧増幅される。反転増幅器  $U_{6-3}$  からの出力電圧はコンパレータ  $U_{1-1}$  に与えられ、電圧設定端子 422 に印加されたターゲット電圧設定電圧と比較される。そして、その差分の電圧がバッファ  $U_{2-2}$  を通じて、トランス  $T_2$  の 1 次側へ供給される。このため、コッククロフト回路 301 の出力電圧は一定の電圧値を保持し、この出力電圧がカソード電圧としてカソード 15b に与えられる。

【0050】図 17 は、グリッド制御部 130 の回路図である。同図に示すグリッド電圧回路 430 は、スイッチングトランジスタ  $Q_{8-1}$ 、 $Q_{8-2}$  と、トランス  $T_3$  とを備えている。カソード電圧回路 420 に備えられた発振器 421 の出力がスイッチングトランジスタ  $Q_{8-1}$ 、 $Q_{8-2}$  に与えられる。したがって、スイッチングトランジスタ  $Q_{8-1}$ 、 $Q_{8-2}$  は、発振器 421 から与えられた発振周波数で交互に ON-OFF 動作をする。ボリウム  $VR_6$  には、マイクロフォーカス X 線管 10 のターゲット電流をカットオフできる電圧があらかじめ設定されている。この設定電圧は反転増幅器  $U_{5-1}$ 、バッファ  $U_{4-1}$  を通じてトランジスタ  $Q_9$  に与えられる。トランジスタ  $Q_9$  の出力電圧はトランス  $T_3$  の 1 次側の midpoint に与えられるので、この電圧がトランジスタ  $Q_{8-1}$ 、 $Q_{8-2}$  でスイッチングされ、発振周波数成分を持った電圧となる。

【0051】また、この周波数成分はカソード電圧の周波数成分と同期している。トランス  $T_3$  の 2 次側には巻数比に応じた電圧が発生し、コッククロフト回路 302 で電圧増幅される。増幅された電圧の負側が、グリッド電圧としてグリッド電極 15c に与えられる。また、増幅された電圧の正側が、カソード電圧として、カソード 15b に与えられる。したがってグリッド電圧は、カソード電圧より負の電位となる。このようにグリッド電圧およびカソード電圧を設定することにより、カソード 15b から放出された電子がターゲット 16a に流れ込む量を、グリッド電極 15c で制御することが可能となる。つまり、グリッド電圧をカソード電圧より大きく負電位にすれば、ターゲット 16a に流れ込む電子をトラップすることができる。また、負電位を小さくすれば、ターゲット 16a に流れ込む電子を増大させることができる。

【0052】カソード電圧回路 420 に備えられたコッククロフト回路 301 から出力されたカソード電圧は、

抵抗ブリーダー 423 で分圧され、反転増幅器  $U_{6-1}$ 、 $U_{6-2}$  で電圧増幅されて、コンパレータ  $U_{1-1}$  に与えられる。コンパレータ  $U_{1-2}$  には電流設定 D/A コンバータ 220 からのターゲット電流設定電圧が与えられ、その出力電圧がコンパレータ  $U_{1-1}$  に与えられる。コンパレータ  $U_{1-1}$  からはこれらの電圧の差の電圧が出力され、この出力電圧はバッファ  $U_{1-4}$  を通じて、反転増幅器  $U_{5-1}$ 、バッファ  $U_{4-1}$  に与えられる。バッファ  $U_{4-1}$  からの出力電圧がトランジスタ  $Q_9$  のゲートに与えられ、トランジスタ  $Q_9$  のエミッタ出力がトランス  $T_3$  の 1 次側電圧となる。

【0053】したがって、グリッド電圧は、カソード電圧に追従し、設定されたターゲット電流となるように制御されるバイアス電圧として動作する。このバイアス電圧はトランス  $T_2$  の 1 次側の電圧で制御され、周波数は一定となる。

【0054】上述したように、グリッド電圧はカソード電圧に追従して動作する。このため、グリッド電位をカソード電位より常に負電位にすることで、ターゲット電流の制御が可能となる。グリッド電位がカットオフ電圧よりカソード電位に近づくにつれて、ターゲット電流が増大していくので、最大のターゲット電流が流れた場合でもカソード電位より負の電位になるように、グリッド電位およびカソード電位を設定する必要がある。この理由は、カソード 15b から放出される電子はヒーター電極 15a で加熱された熱電子であり、この熱電子がフォーカス電極 15d で  $10\mu\text{m}$  程度の焦点径で集束されると、電流密度が極めて高くなるからである。したがって、ターゲット電流が  $100\mu\text{A}$  を越える状態にならないようにして、高電流密度によるターゲット 16a の焼損や劣化を防止する必要がある。よって、グリッド電位をカソード電位より負に保持する重要性は極めて大きい。

【0055】本実施例では、グリッド電圧を与える回路とカソード電圧を与える回路において極性を持たせることで実現している。具体的には、コッククロフト回路 302 の初段側からコッククロフト回路 301 の最終段に接続する部分に、コッククロフト回路 302 側にマイナス、コッククロフト回路 301 側にプラスの極性を持つダイオード  $D_1$ 、 $D_2$  を直列に接続している。このダイオード  $D_1$ 、 $D_2$  の整流作用によって、グリッド電位はカソード電位より常に負の電位となり、高電流密度によるターゲット 16a の焼損や劣化は防止される。

【0056】図 18 は、ヒーター制御部 150 の回路図である。同図に示すヒーター電圧回路 440 では、3 端子レギュレータ 441 によりトランス  $T_1$  の midpoint にボリウム  $VR_6$  で調整された電圧が与えられる。スイッチングトランジスタ  $Q_{10}$  ( $Q_{10-1}$ 、 $Q_{10-2}$ ) は、発振器 442 で与えられた発振周波数によって交互に ON-OFF 動作をする。このスイッチングトランジスタ  $Q_{10}$  のコ

10

20

30

40

50

レクタ電圧がトランスT<sub>1</sub>の一次側の両端に印加される。よって、トランスT<sub>1</sub>の1次側電圧は発振周波数成分を持った電圧となる。また、トランスT<sub>1</sub>の1次側電圧はトランスT<sub>1</sub>の中心に電圧を与えるボリュームVR<sub>s</sub>によって調整される。

【0057】トランスT<sub>1</sub>の2次電圧はトランスT<sub>1</sub>の1次電圧で制御され、周波数は一定となる。このトランスT<sub>1</sub>の2次側の一端443はヒーター電極15aに接続され、他の一端444はカソード電位になるように接続されている。つまり、ヒーター電圧回路440は、グラ  
10      ンド電位に対して負の高圧電位であるカソード15bの負電極と接続されている。また、カソード電圧は、ターゲット電圧の変化に合わせて連動して変化するので、ヒーター電圧回路440上の電位はこれに合わせて変化することになる。

【0058】マイクロフォーカスX線管10の管電圧を70kV、管電流を100 $\mu$ Aとした場合、ターゲット電圧が0 $\sim$ +70kVに変化すると、カソード電圧は連  
20      動して、0 $\sim$ -700Vに変化する。したがって、ヒーター電圧回路440は最大(-)700Vの電位となる。

【0059】ここで、トランスT<sub>1</sub>の2次側の一端443をグラウンドと短絡してしまった場合には、ヒーター電  
30      圧回路440にはカソード電圧が直接印加されることになる。カソード電圧が印加されると、ヒーター電極15aにはコッククロフト回路20の出力が通電され、電流量が大きくなればヒーター電極15aが焼損してしまう危険性がある。

【0060】本実施例は、ヒーター電圧回路440から出力される電流量に比べて、コッククロフト回路20から出力される電流量が十分に小さくなるよう設定されて  
40      いる。このため、コッククロフト回路20は電圧降下を起こすのみで、コッククロフト回路20の出力電流がヒーター電極15aに影響を与えることはない。具体的には、カソード電圧を発生させるコッククロフト回路301は、静電容量が2200PFのコンデンサ8段で構成されている。このようなコッククロフト回路301では、負荷電流として300 $\mu$ A程度まで得られることが実験的に判っている。また、例えば、カソード15bから100 $\mu$ Aのターゲット電流を発生させるには、ヒ  
50      ーター電極15aに6.3V程度の電圧が印加され、300mA程度の電流が流れる。このように、ヒーター電極15aの電流量は、コッククロフト回路301から出力される電流量に比べて十分大きいので、コッククロフト回路20の出力電流がヒーター電極15aに影響を与えることはない。

【0061】図19 $\sim$ 図23は、制御ブロック部200の各回路を示す回路図である。図19はインターロック検出部230の回路図であるインターロック回路45  
0、図20はエージング部240の回路図である自動エ

ージング回路460である。さらに、図21は電圧設定D/Aコンバータ210及び電流設定D/Aコンバータ220の回路図であるコンバータ回路470、図22はCPU360の周辺回路図であるCPU駆動指示回路480、図23はCPU360の回路図であるCPU回路490である。

【0062】自動エージング回路460の電源スイッチ461が投入されると、インターロック回路450のANDゲート453でインターロックの状態が検知され  
10      る。動作可能状態であると検知された場合には、CPU回路490のCPU491に内蔵されたプログラムが実行され、AGING指令信号がNORゲート465に与えられる。このAGING指令信号によって、フリップフロップ464、NANDゲート466、467が駆動され、コンバータ回路470のD/Aコンバータ471、474の出力としてターゲット電圧設定電圧およびターゲット電流設定電圧が与えられる。これらの設定電  
20      圧が与えられることによって、動作ブロック部100の各回路が駆動され、マイクロフォーカスX線管10にとって最適なウォームアップが行われる。

【0063】ウォームアップ終了後、CPU491からNAND回路467に指令が与えられ、コンパレータ469からの出力がスタンバイ状態（外部よりマイクロフォーカスX線管10のターゲット電圧、ターゲット電流を設定する準備状態）に切り換わる。

【0064】本実施例には、マイクロフォーカスX線管10でのX線の発生を、CPU駆動指示回路480のキースイッチ481を用いて停止させる機能がある。キースイッチ481には、NCスイッチとNOスイッチがあり、X線発生前にNCスイッチが投入されると、NANDゲート484からCPU491に信号が出力され、自動ウォームアップ動作の信号がCPU491より出力される。また、X線発生後にNOスイッチが投入されるとNANDゲート482からオーペレーションスイッチ信号として、CPU491に与えられる。NOスイッチの投入によって、CPU491は内蔵したプログラムにより、インターロック回路450のインバータ451を駆動して、スタンバイ状態に切り換わる。

【0065】さらにCPU491は、D/Aコンバータ471、474に指令を与えて、ターゲット電圧、ターゲット電流の設定が初期状態（ターゲット電圧0V、ターゲット電流0 $\mu$ A）になるように、以前の設定信号をすべてリセットさせる。

【0066】図24(a)は従来のX線装置（PWM方式）を用いて測定した出力強度のばらつきを示す図、図24(b)は本実施例のX線装置を用いて測定した出力強度のばらつきを示す図である。いずれのX線装置もターゲット電圧を40KV、ターゲット電流を10 $\mu$ Aに設定している。これらの図より、本実施例のX線装置は、従来装置に比べて、出力が安定していることが判  
50

る。つまり、本実施例の X 線装置の各電圧発生回路（ターゲット電圧回路 410、カソード電圧回路 420、…）は、電圧制御方式がパルス電圧可変制御方式であるため、低圧より高圧まで駆動を安定して制御することができるのである。したがって、本実施例では、ばらつきの少ない安定した X 線出力を維持することができ、精密な計測などの低ターゲット電圧、低ターゲット電流下での使用に顕著な効果を有する。

#### 【0067】

【発明の効果】本発明の X 線装置であれば、フォーカス電極はグランド電位を保持し変動することがないので、ターゲットに衝突する電子の焦点径が一定になり、X 線の出力が安定する。また、カソード・ターゲット間の電位比は常に一定なので、カソード・ターゲット間の電界分布が安定し、X 線の出力が安定する。さらに、外囲器はグランド電位を保持しているため、外部からの影響を受けてカソード・ターゲット間の電界分布が乱れることはほとんどない。よって、カソード・ターゲット間の電界分布の乱れによって、X 線の出力が変動することはない。

【0068】このように、本発明の X 線装置を用いれば、バラツキの小さい X 線出力を得ることができる。

【0069】また、X 線出力の安定性がより向上した。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本実施例に係る X 線装置の構成を示す斜視図である。

【図 2】本実施例に係る X 線装置の構成を示す断面図である。

【図 3】サイドウィンドタイプのマイクロフォーカス X 線管の構造を示す断面図である。

【図 4】エンドウィンドタイプのマイクロフォーカス X 線管の構造を示す断面図である。

【図 5】電子銃の構造を示す断面図である。

【図 6】マイクロフォーカス X 線管とモールドブロックがパネルに固定された状態を示す断面図である。

【図 7】X 線出射部分の構造を示す断面図である。

【図 8】モールドブロックの外観を示す斜視図である。

【図 9】モールド型の外観を示す斜視図である。

【図 10】カソード電圧とターゲット電圧を連動させる回路の概略図である。

【図 11】ターゲット電圧とカソード電圧の関係を示す図である。

【図 12】ターゲット電圧とカソード電圧の比率と、ターゲットに衝突する電子の焦点径との関係を示す図である。

【図 13】本実施例に係る X 線装置の動作を示すブロック図である。

【図 14】動作ブロック部の詳細構成を示すブロック図である。

【図 15】ターゲット電圧回路の構成を示す回路図である。

【図 16】カソード電圧回路の構成を示す回路図である。

【図 17】グリッド電圧回路の構成を示す回路図である。

【図 18】ヒーター電圧回路の構成を示す回路図である。

【図 19】インターロック回路の構成を示す回路図である。

【図 20】自動エージング回路の構成を示す回路図である。

【図 21】コンバータ回路の構成を示す回路図である。

【図 22】CPU 駆動指示回路の構成を示す回路図である。

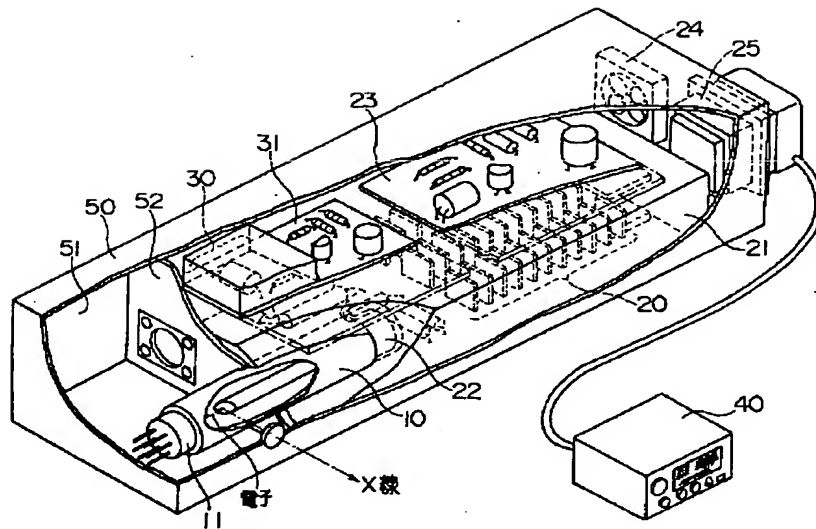
【図 23】CPU 回路の構成を示す回路図である。

【図 24】X 線出力強度のばらつきを示す図である。

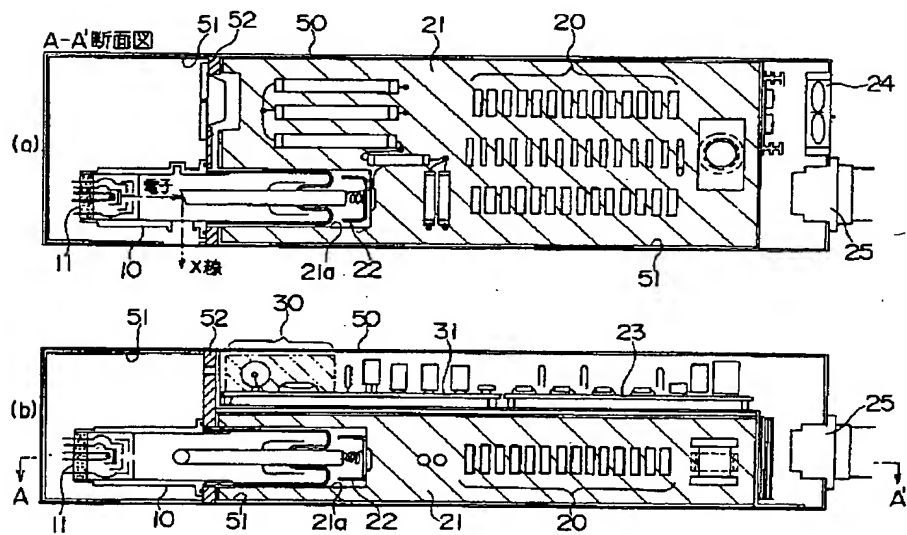
#### 【符号の説明】

10…マイクロフォーカス X 線管、11…ステム、12, 13…外囲器、14…X 線出射窓、15…電子銃、15a…ヒーター電極、15b…カソード、15c…グリッド電極、15d…フォーカス電極、15e…支柱、16…ターゲット基体、16a…ターゲット、20, 30…コッククロフト回路、21…モールドブロック、21a…絶縁油槽、22…ターゲット高電圧供給端子、23, 31…基板、24…冷却用ファン、25…コネクタ、40…コントロール装置、50…筐体、51…鉛板、52…パネル、53…蒸発防止カバー、60…モールド型、100…動作ブロック部、110…ターゲット制御部、120…ターゲット過電流検出部、130…グリッド制御部、140…カソード制御部、150…ヒーター制御部、200…制御ブロック部、210…電圧設定 D/A コンバータ、220…電流設定 D/A コンバータ、230…インターロック検出部、240…エージング部、250…キースイッチ、260…電源制御部、270…ROM、280…RAM、290…電圧設定スイッチ、300…電流設定スイッチ、310…モードスイッチ、320…モード表示部、330…過電流表示部、340…ターゲット電圧表示メータ、350…ターゲット電流表示メータ、360…CPU、410…ターゲット電圧回路、420…カソード電圧回路、430…グリッド電圧回路、440…ヒーター電圧回路、450…インターロック回路、460…自動エージング回路、470…コンバータ回路、480…CPU 駆動指示回路、490…CPU 回路。

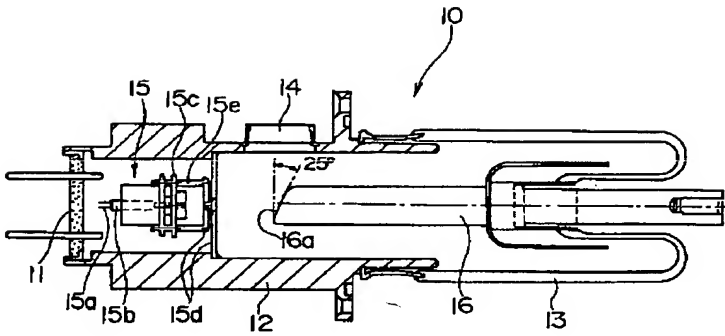
【図1】



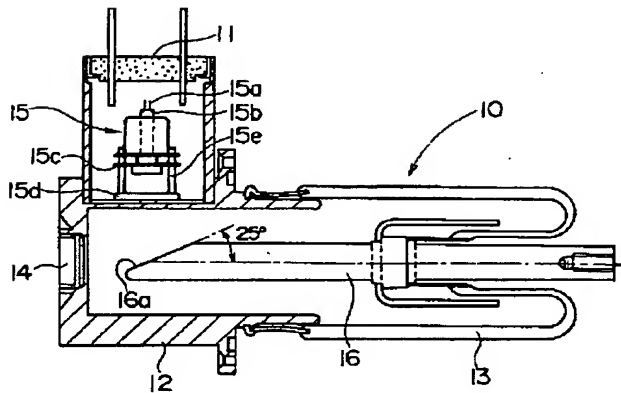
【図2】



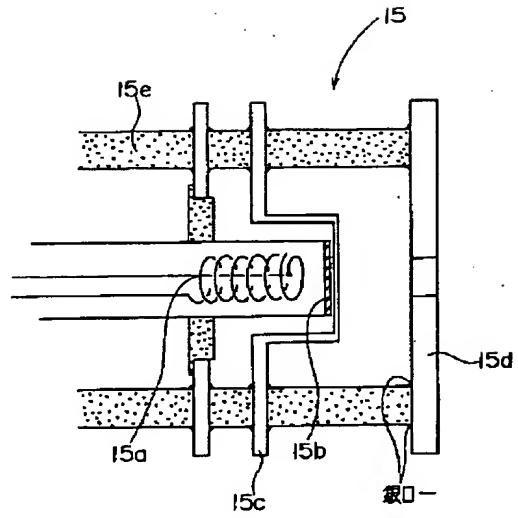
【図3】



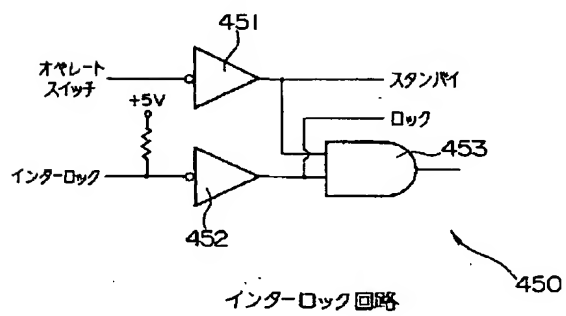
【図4】



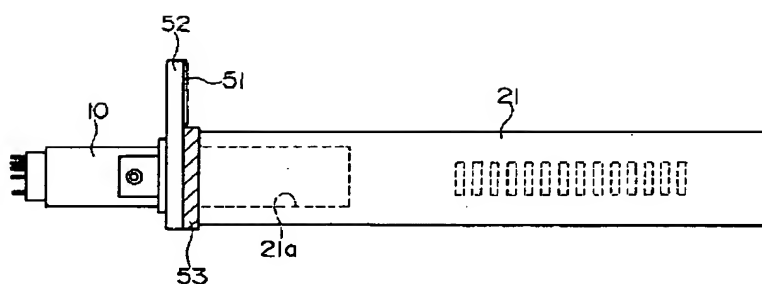
【図5】



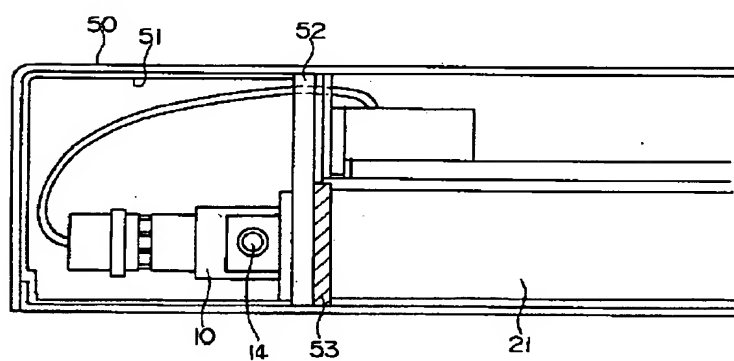
【図19】



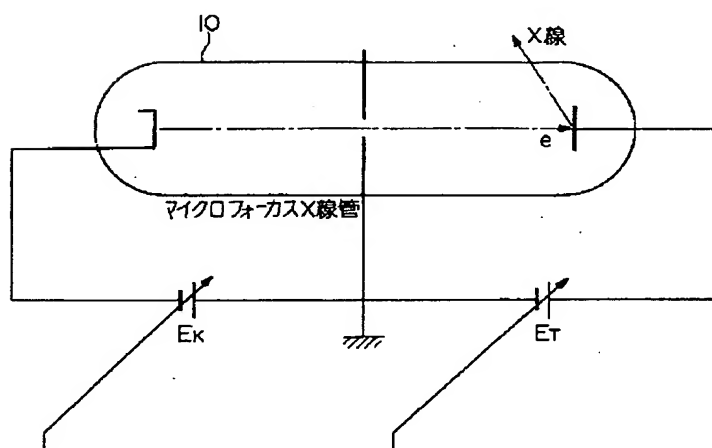
【図6】



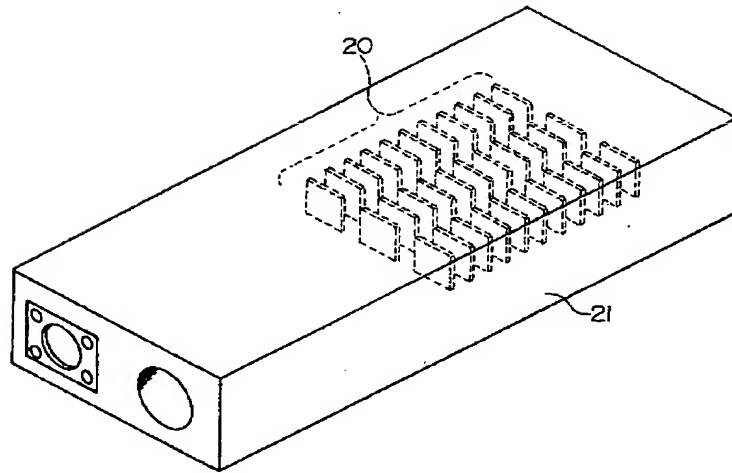
【図7】



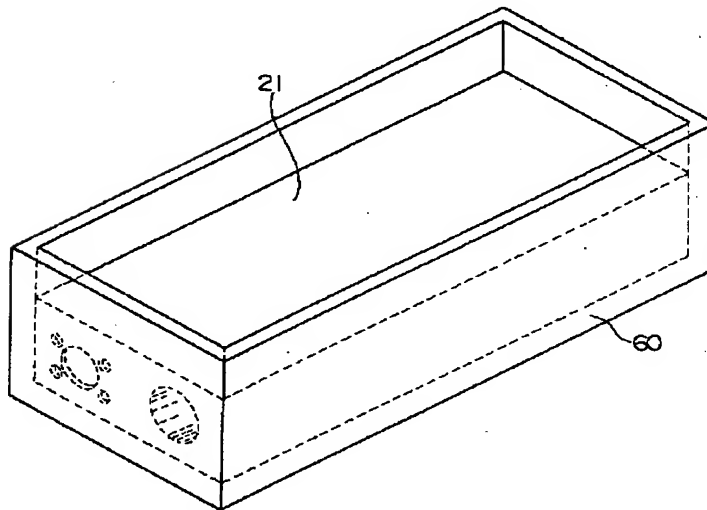
【図10】



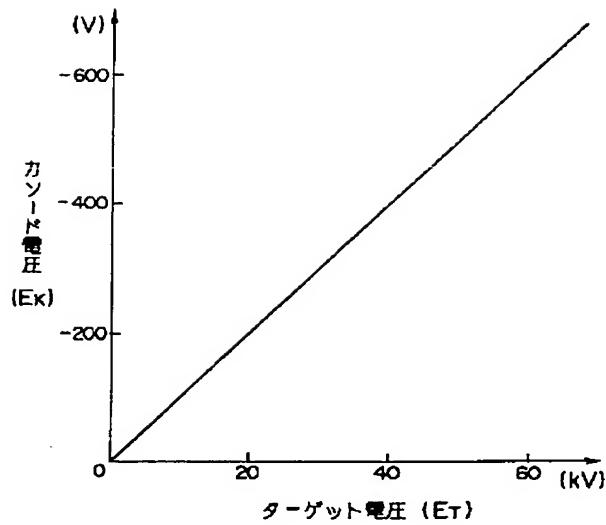
【図8】



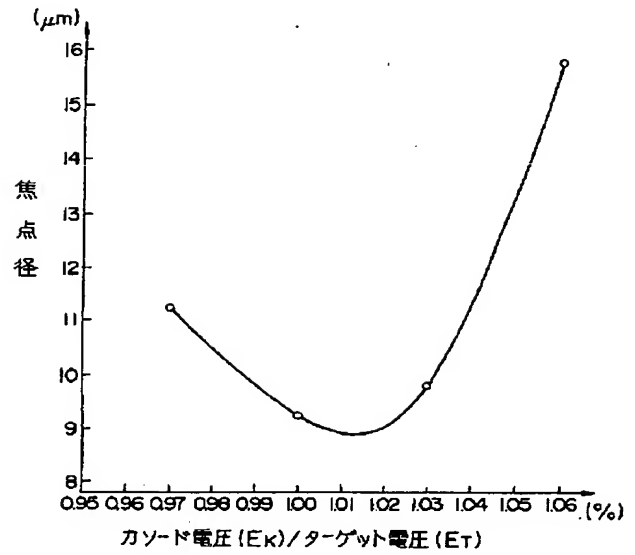
【図9】



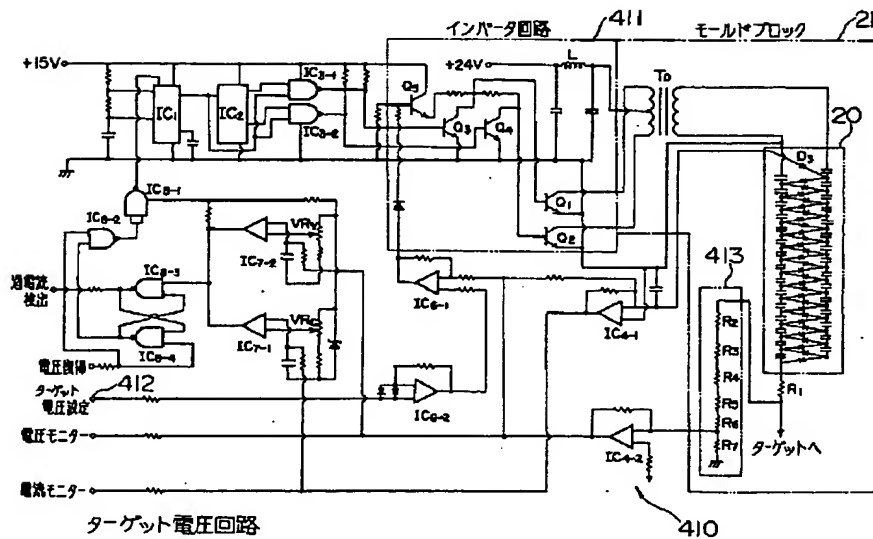
【図11】



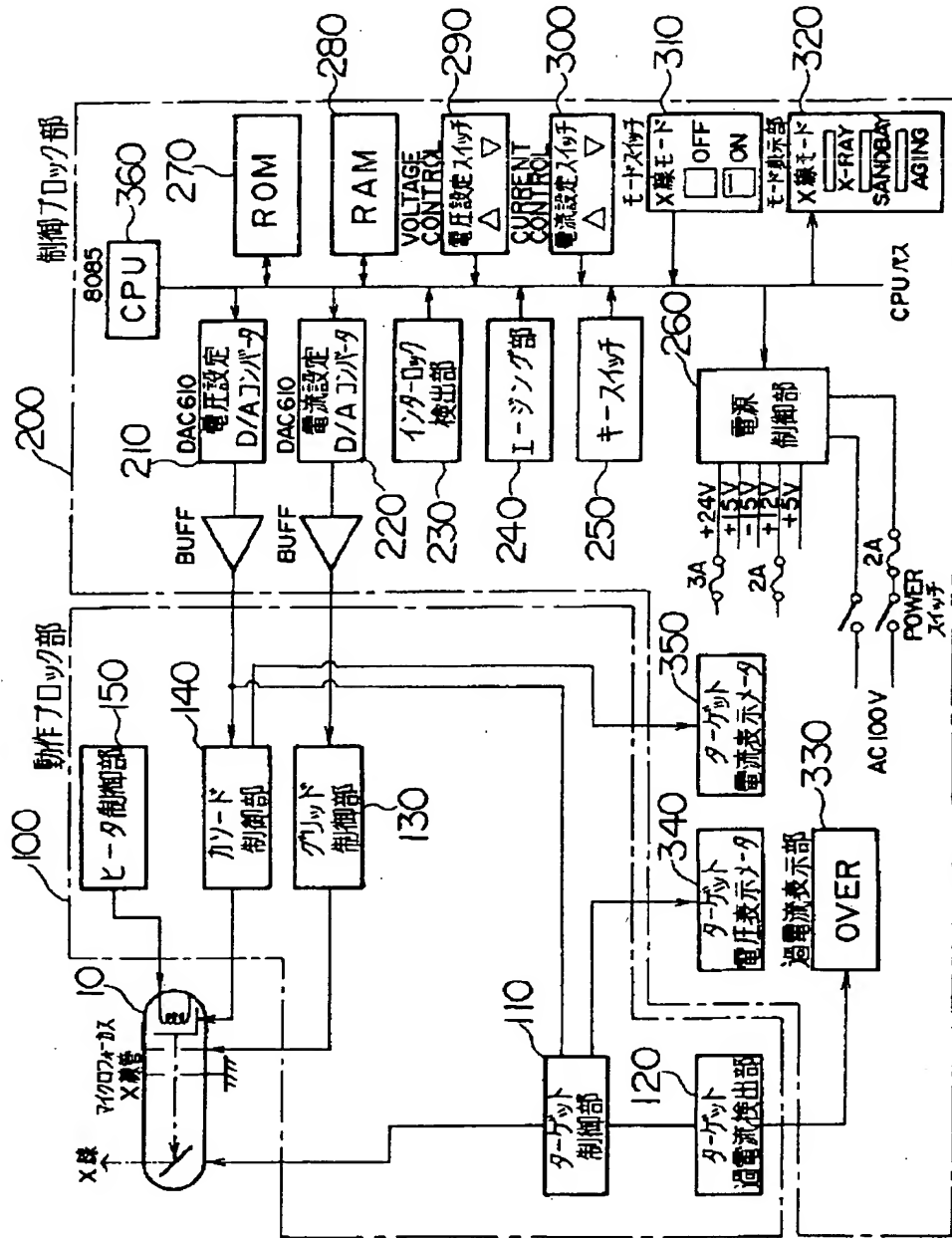
【図12】



【図15】

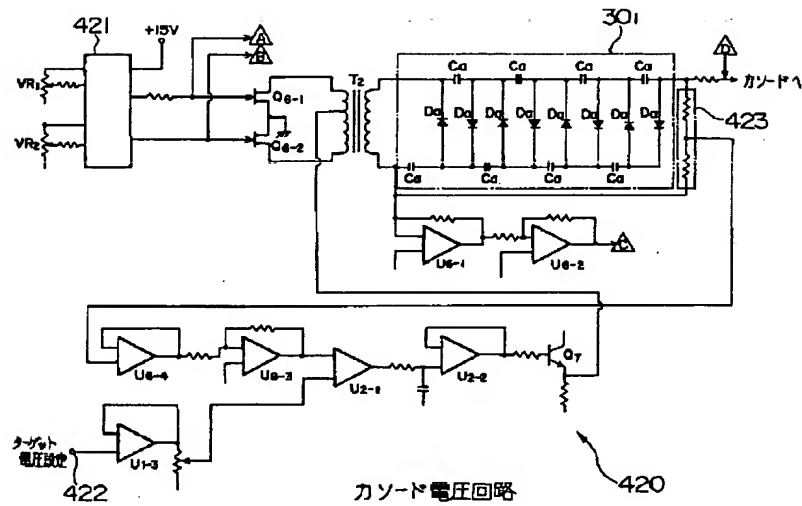


【図13】

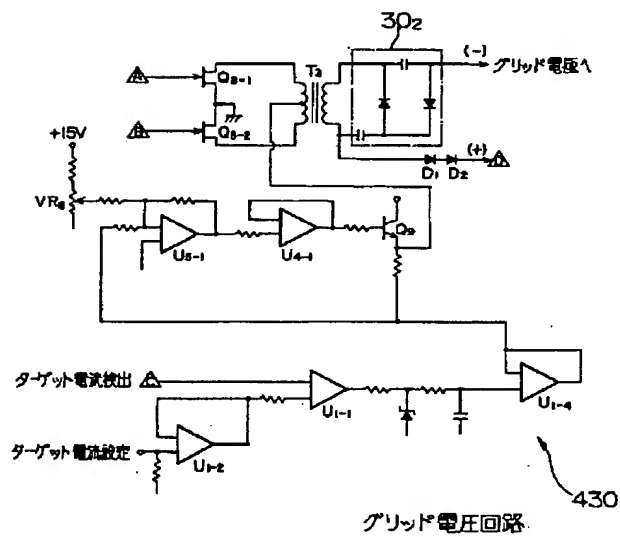


The diagram illustrates a microprocessor system architecture. At the top left, a dashed box labeled 'マイクロプロセッサ' (Microprocessor) contains a cross symbol and is connected to an 'X線' (X-ray) source. Below it, a 'ターゲット電圧制御部' (Target Voltage Control Unit) receives '電流表示 X-Y' (Current Display X-Y) and '電圧表示 X-Y' (Voltage Display X-Y) signals. This unit controls a 'ターゲット電圧発生部' (Target Voltage Generation Unit), which outputs to a '過電流検出部' (Overcurrent Detection Unit) and a '過電圧検出部' (Overvoltage Detection Unit). These detection units feed into a 'ターゲット電流検出部' (Target Current Detection Unit) and a 'ターゲット電圧比較部' (Target Voltage Comparison Unit), respectively. The comparison unit's output goes to a 'カソード電圧制御部' (Cathode Voltage Control Unit), which manages a 'カソード電圧発生部' (Cathode Voltage Generation Unit). Similarly, there are sections for 'ヒータ電圧' (Heater Voltage) and 'グリッド電圧' (Grid Voltage), each consisting of a control unit and a generation unit. A 'カットオフ電圧制御設定部' (Cut-off Voltage Control Setting Unit) provides input to the grid voltage control section. Various numbered lines (e.g., 10, 110, 120, 130, 140, 150) indicate signal paths throughout the system.

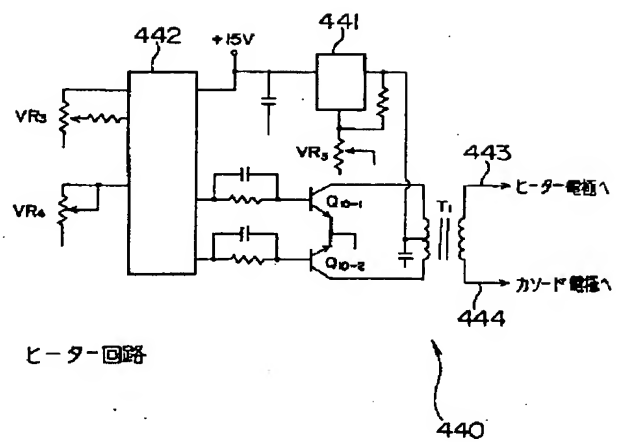
【図16】



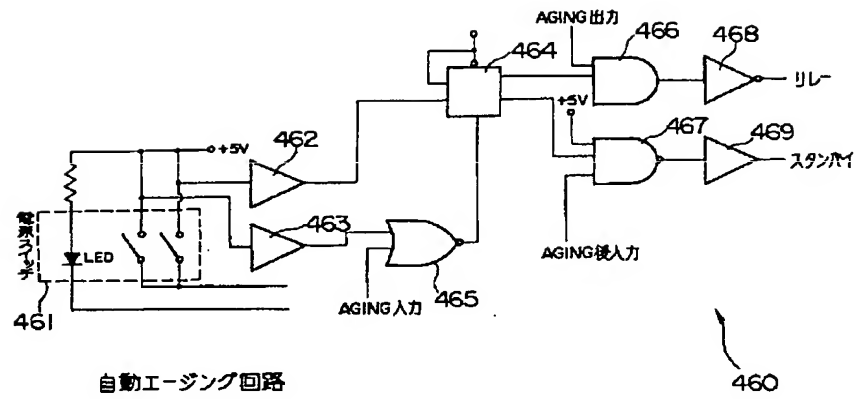
【図17】



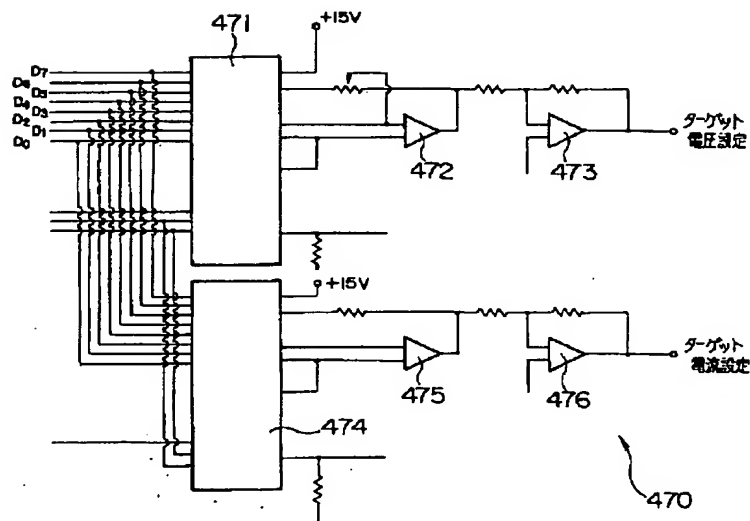
【図18】



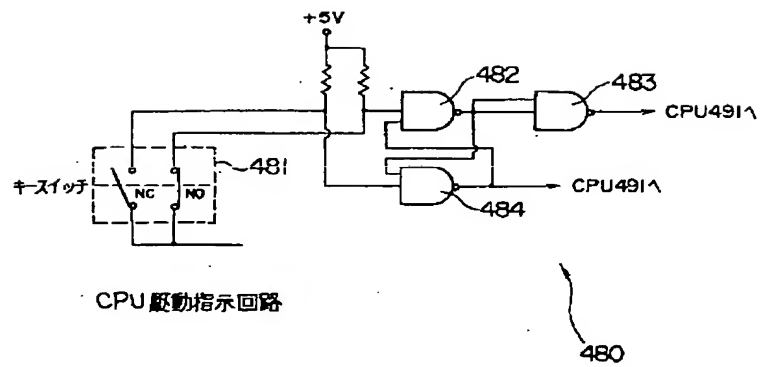
【図20】



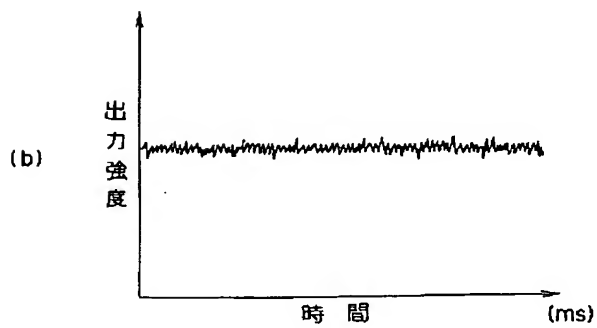
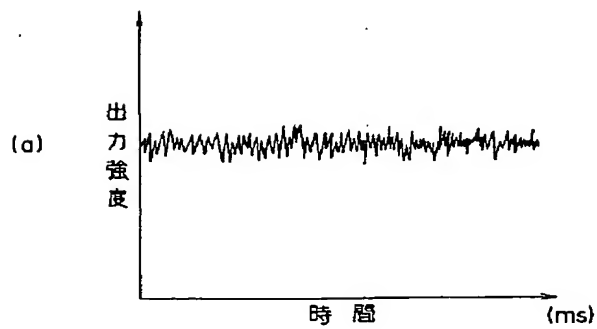
【図21】



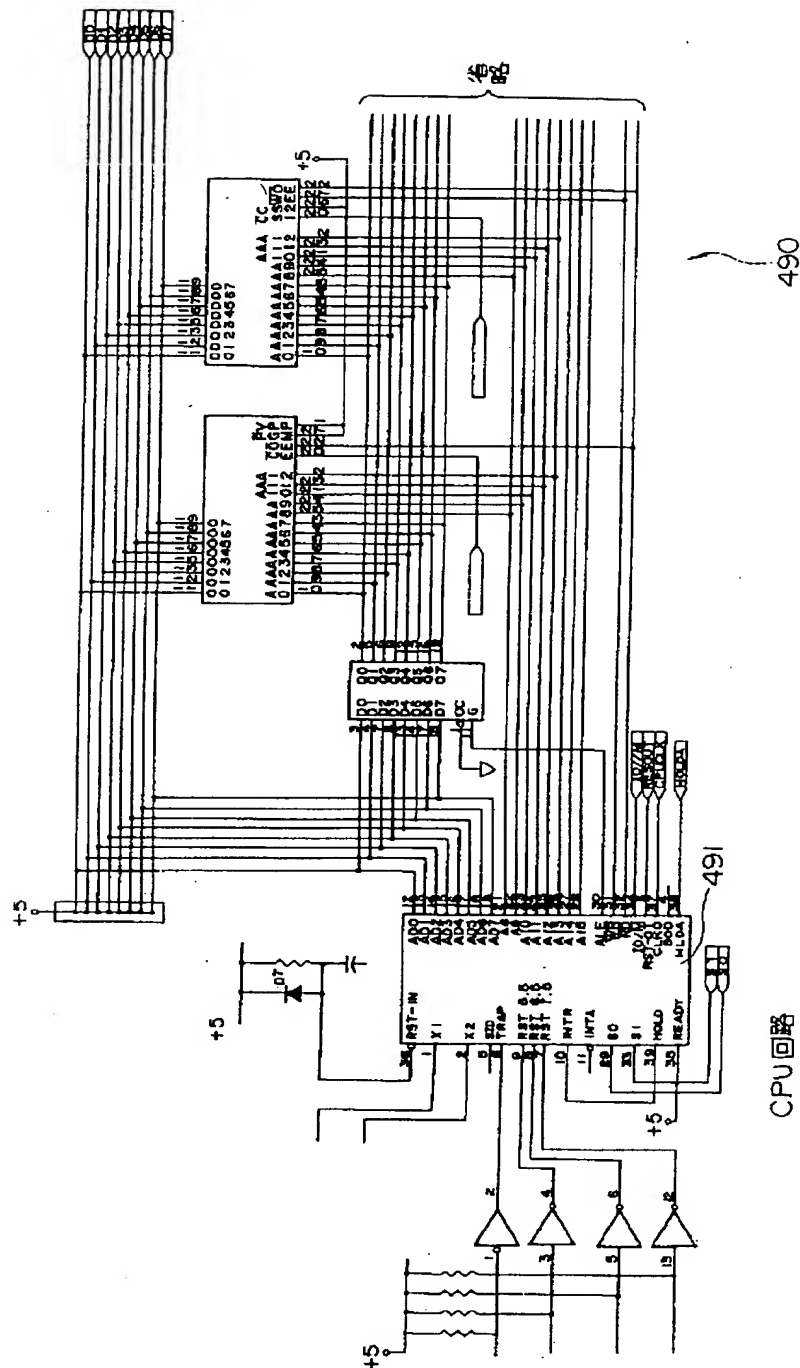
【図 2 2】



【図 2 4】



NOT AVAILABLE COPY



## フロントページの続き

(72)発明者 古川 光政  
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内  
(72)発明者 川上 博己  
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72)発明者 松下 正興  
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内  
(72)発明者 沢田 晴基  
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内  
(72)発明者 鈴木 利弘  
静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内